



PAVUS, a.s.

VZOROVÝ VÝPOČET

Číslo zakázky:

Z220210429

pro výrobek

Nosný trapézový plech

Objednatel:

**Divize Isover,
Saint-Gobain Construction Products CZ a.s.
Smrčková 2485/4
180 00 Praha 8
Česká republika**

Vzorový výpočet obsahuje 28 stran textu.

Počet výtisků: 3

Číslo výtisku: 1

PROSECKÁ 412/74, 190 00 PRAHA 9 – PROSEK, e-mail: mail@pavus.cz, [http:// www.pavus.cz](http://www.pavus.cz)
IČO: 60193174, DIČ: CZ60193174, v OR vedeném Městským soudem v Praze oddíl B, vložka 2309.
Tel.: +420 286 019 587 Fax: +420 286 019 590
Pobočka Veselí nad Lužnicí
Čtvrť J. Hybeše 879, 391 81 Veselí nad Lužnicí, e-mail: veseli@pavus.cz
Tel.: +420 381 477 418 Fax: +420 381 477 419

Obsah

1	Předmět výpočtu.....	3
2	Podklady použité při zpracování Vzorového výpočtu	3
3	Popis posuzované konstrukce	4
3.1	Zkratky použité ve výpočtu.....	4
3.2	Předpoklady výpočtu.....	4
4	Vzorový výpočet	5
4.1	Rozpětí 6 m, odolnost R 15, plech TR 150/280/0,75	5
4.2	Rozpětí 6 m, odolnost R 30, plech TR 150/280/0,75	9
4.3	Rozpětí 6 m, odolnost R 45, plech TR 150/280/0,75	13
4.4	Rozpětí 6 m, odolnost R 60, plech TR 150/280/0,75	17
4.5	Rozpětí 6 m, odolnost R 45, plech TR A 150/280/0,75.....	21
4.6	Rozpětí 8 m, odolnost R 45, plech TR 150/280/0,75	25
5	Shrnutí výsledků	28
6	Závěr	28

Vzorový výpočet je vypracován na základě smlouvy číslo Z220210429, uzavřené mezi objednatelem firmou Saint-Gobain Construction Products CZ a.s. a PAVUS, a.s. zpracovatelem vzorového výpočtu.

1 PŘEDMĚT VÝPOČTU

Předmětem vzorového výpočtu je návod na posouzení trapézových nosných plechů ve střešní konstrukci.

Vzorový příklad je proveden pro plný plech R 15, R 30, R 45, R 60 (rozpětí 6 m). Celistvost a izolace nejsou řešeny. Vzorový výpočet je také proveden pro perforovaný plech pro R 45 (rozpětí 6 m) a pro plný plech R 45 (rozpětí 8 m).

Rozbor je zpracován dle zásad ČSN EN 1365-2, ČSN EN 1993-1-2, v souladu s ČSN 73 0810 a s využitím znalostí výsledků zkoušek požární odolnosti posuzovaných výrobků.

2 PODKLADY POUŽITÉ PŘI ZPRACOVÁNÍ VZOROVÉHO VÝPOČTU

- [1] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení
- [2] ČSN EN 1365-2 Zkoušení požární odolnosti nosných prvků - Část 2: Stropy a střechy
- [3] ČSN EN 1363-1 Zkoušení požární odolnosti – Část 1 : Základní požadavky
- [4] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [5] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [6] ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení - Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru
- [7] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- [8] ČSN EN 1993-1-2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- [9] ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-3: Obecná pravidla - Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily
- [10] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků
- [11] Rozhodnutí komise 96/603/ES ze dne 4. října 1996

3 POPIS POSUZOVANÉ KONSTRUKCE

Posuzovanou konstrukcí je trapézový plech pnutý mezi dvěma podporami. Plech je kotven k podporám dvěma šrouby. Rozpětí konstrukce je 6,0 m a 8,0 m. Pro výpočty je použit trapézový plech TR 150/280/0,75 s plným průřezem a TR A 150/280/0,75 s perforovaným průřezem.

3.1 Zkratky použité ve výpočtu

A_p	je průřezová plocha plechu	[mm ² ·m ⁻¹]
μ_t	povolené využití plochy plechu, lze použít hodnotu ze zkoušky nebo hodnotu 0,5, lze použít větší z hodnot	[--]
L	rozpětí posuzovaného plechu	[m]
$\theta_{a,R}$	teplota plynů v dané požární odolnosti-teplota oceli se uvažuje stejná hodnota	[°C]
$f_{y,0}$	mez kluzu plechu při teplotě 20 °C, 320 Mpa	[MPa]
$f_{y,\theta,R}$	mez kluzu plechu při teplotě $\theta_{a,R}$ vypočtená dle tab. E.1 v EN 1993-1-2	[MPa]
E_0	modul pružnosti plechu při teplotě 20 °C, 210 000 MPa	[MPa]
$E_{\theta,R}$	modul pružnosti plechu při teplotě $\theta_{a,R}$ vypočtená dle tab. E.1 v EN 1993-1-2	[MPa]
$g_{d,fi}$	celkové zatížení plechu za požáru	[kN·m ⁻¹]
$f_{y\theta H,R}$	Napětí v plechu uprostřed rozpětí při dané teplotě $\theta_{a,R}$	[MPa]
α	odklon profilu od vodorovné roviny u podpory	[rad]
$\Delta L_{R\theta,R}$	přírůstek protažení ocelového plechu při dané teplotě $\theta_{a,R}$ od teploty se vypočte dle EN 1993-1-2 čl. 3.4.1.1	[m]
$\Delta L_{E\theta,R}$	přírůstek protažení ocelového plechu při dané teplotě $\theta_{a,R}$ od napětí	[m]
M_{ED}	ohybový moment vyvolaný zatížením	[kNm]
H_{ED}	vodorovná síla vyvolaná zatížením	[kN]
H_{Rd}	maximální vodorovná síla, kterou přenesne konstrukce	[kN]
F_{Rd}	maximální síla, kterou přenesne trapézový plech	[kN]
δ_0	průhyb konstrukce	[m]
n_R	počet šroubů v jedné vlně	[ks]
m_R	vzdálenost vln	[mm]
$F_{b1,Rd}$	únosnost jednoho šroubu v otláčení	[kN]
$F_{b,Rd}$	únosnost šroubů v otláčení	[kN]
ε	celkové poměrné přetvoření	[--]
ε_θ	poměrné přetvoření od teploty	[--]
ε_E	poměrné přetvoření od napětí	[--]

3.2 Předpoklady výpočtu

Tento výpočet navazuje na vyhodnocení zkoušky, ze které je převzata hodnota využití průřezu plechu.

Předpokládá se, že jsou použity plechy s mezí kluzu 320 Mpa.

Únosnost šroubu v otláčení je uvažována dle normy ČSN EN 1993-1-3. Hodnota únosnosti je 1,4 kN. Únosnost šroubu je pro teplotu 500 °C redukována hodnotou 0,53 dle tabulky E.1. Únosnost jednoho šroubu při teplotě 500 °C je uvažována 0,928 kN.

Pro stanovení únosnosti šroubů lze počítat podle normy ČSN EN 1993-1-3, která je pro tenkostěnné konstrukce určena. Při stanovení únosnosti šroubů by se měl brát ohled na dostatečnou deformační kapacitu spoje.

Výpočet konstrukce je prováděn na jeden její metr šířky.

4 VZOROVÝ VÝPOČET

4.1 Rozpětí 6 m, odolnost R 15, plech TR 150/280/0,75

$$L = 6 \text{ m}$$

$$g_R = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\theta_{aR} = 738,6 \text{ }^\circ\text{C} - \text{teplota plynů v 15. minutě požáru}$$

$$A_R = 1\,246 \text{ mm}^2$$

$$f_{y,\theta,15} = 34,2 \text{ MPa}$$

$$E_{\theta,15} = 24\,060 \text{ MPa}$$

$$\mu_t = 0,5$$

$$m_R = 280 \text{ mm}$$

$$n_R = 2 \text{ ks}$$

$$F_{b1,Rd} = 0,928 \text{ kN}$$

Moment na konstrukci:

$$M_{ED} = \frac{g_{d,fi} \times L^2}{8} \quad (4.1)$$

$$M_{ED} = \frac{0,5 \times 6^2}{8}$$

$$M_{ED} = 2,25 \text{ kNm}$$

Maximální povolená tahová síla v plechu se vypočte jako:

$$F_{Rd} = A \times f_{y\theta,15} \times \mu_t \quad (4.2)$$

$$F_{Rd} = 1\,246 \times 34,2 \times 0,5$$

$$F_{Rd} = 21,30 \text{ kN}$$

Maximální povolená únosnost šroubů:

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b1,Rd} \times n_R \times 1000}{m_R} \quad (4.3)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,928 \times 2 \times 1000}{280}$$

$$F_{b,Rd} = 6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Z porovnání únosnosti šroubů a plechu je patrné, že únosnost bude v tomto případě omezena únosností šroubů. Sílu v plechu uprostřed rozpětí lze dopočítat při předpokládaném sklonu plechu u podpory 15°:

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot F_{Rd}$$

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot 21,30$$

$$H_{Rd} = 20,58 \text{ kN (prvotní odhad)}$$

Vodorovná síla v plechu není větší než 6,628 kN·m⁻¹.

Průhyb plechu lze vypočítat:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}}$$

kde je patrné, že vodorovná síla je závislá na průhybu a průhyb je závislý na poměrném přetvoření. Poměrné přetvoření se skládá z protažení od teploty a protažení od napětí. Protažení od teploty je dané teplotou plechu. Protažení od napětí závisí na průhybu. Takto se dostáváme do cyklického výpočtu.

Nejdříve se vypočítá protažení od teploty (738,6 °C), pro tuto teplotu se protažení vypočítá dle normy ČSN EN 1993-1-2 čl. 3.4.1.1:

$$\varepsilon_{\theta} = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta_a + 0,4 \cdot 10^{-8} \cdot \theta_a^2 - 2,416 \cdot 10^{-4} \quad (4.4)$$

$$\varepsilon_{\theta} = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 738,6 + 0,4 \cdot 10^{-8} \cdot 738,6^2 - 2,416 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{\theta} = 0,0108$$

Průhyb od teploty lze vypočítat jako:

$$\delta_{0\theta} = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.5)$$

$$\delta_{0\theta} = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0108 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_{0\theta} = 0,381 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,381}{6}\right) = 0,25 \text{ rad } (14,28^\circ) \quad (4.6)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,15} \cdot \cos(\alpha) = 21,30 \cdot \cos(0,25) = 20,64 \text{ kN} \quad (4.7)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. 6,628 kN·m⁻¹.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_{0\theta}} \quad (4.8)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,381}$$

$$H_{ED} = 5,89 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 5,89 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Posouzení je konzervativní, protože se neuvažuje s průhybem od napětí. Příspěvek k únosnosti lze spočítat následovně:

Lze spočítat poměrné protažení od zatížení při teplotě 738,6 °C. Jako síla v plechu je uvažována

$$\varepsilon_E = \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,15}} \quad (4.9)$$

$$\varepsilon_E = \frac{5,89 \cdot 1000}{1246 \cdot 24060}$$

$$\varepsilon_E = 0,00019$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_E + \varepsilon_\theta \\ \varepsilon &= 0,00019 + 0,0108 \\ \varepsilon &= 0,0109\end{aligned}$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}\delta_0 &= L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \\ \delta_0 &= 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0109 \cdot 6)}{8 \cdot 6}} \\ \delta_{0\theta} &= 0,385 \text{ m}\end{aligned} \quad (4.10)$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,385}{6}\right) = 0,25 \text{ rad} \rightarrow (14,41^\circ) \quad (4.11)$$

Dále můžeme lze vypočítat maximální vodorovnou sílu v plechu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,15} \cdot \cos(\alpha) = 21,30 \cdot \cos(0,25) = 20,63 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \quad (4.12)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,28 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}H_{ED} &= \frac{M_{ED}}{\delta_{0\theta}} \\ H_{ED} &= \frac{2,25}{0,385} \\ H_{ED} &= 5,838 \text{ kN}\end{aligned} \quad (4.13)$$

Toto není konečná hodnota, protože protažení je počítáno od síly $5,89 \text{ kN}$, což je větší hodnota než $5,83 \text{ kN}$.

$$\begin{aligned}\varepsilon_E &= \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,15}} \\ \varepsilon_E &= \frac{5,83 \cdot 1000}{1246 \cdot 24\,060} \\ \varepsilon_E &= 0,00019\end{aligned} \quad (4.14)$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\varepsilon = \varepsilon_E + \varepsilon_\theta$$

$$\varepsilon = 0,00019 + 0,011$$

$$\varepsilon = 0,011$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.15)$$

$$\delta_0 = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,011 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_0 = 0,385 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,385}{6}\right) = 0,25 \text{ rad } (14,41^\circ) \quad (4.16)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu v plechu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,15} \cdot \cos(\alpha) = 21,3 \cdot \cos(0,25) = 20,63 \text{ MPa} \quad (4.17)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,28 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_{0\theta}} \quad (4.18)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,385}$$

$$H_{ED} = 5,839 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$\underline{6,628 \text{ kNm} \geq 5,839 \text{ kNm}}$$

Vyhovuje

Pokud porovnáme výsledek rovnice (4.13) a rovnice (4.18), je patrné, že výsledky se rozcházejí až na 3. desetinném místě.

Pokud je potřeba se dostat ještě k přesnějšímu výsledku, je možné postup opakovat, ale vždy musíme hodnotit, zda je přiblížení k výsledku z bezpečné strany.

4.2 Rozpětí 6 m, odolnost R 30, plech TR 150/280/0,75

$$L = 6 \text{ m}$$

$$g_R = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\theta_{aR} = 841,8 \text{ }^\circ\text{C} - \text{teplota plynů v 30. minutě požáru}$$

$$A_R = 1\,246 \text{ mm}^2$$

$$f_{y,\theta,30} = 19,73 \text{ MPa}$$

$$E_{\theta,30} = 16\,925 \text{ MPa}$$

$$\mu_t = 0,5$$

$$m_R = 280 \text{ mm}$$

$$n_R = 2 \text{ ks}$$

$$F_{b1,Rd} = 0,928 \text{ kN}$$

Moment na konstrukci:

$$M_{ED} = \frac{g_{d,fl} \times L^2}{8} \quad (4.19)$$

$$M_{ED} = \frac{0,8 \times 6^2}{8}$$

$$M_{ED} = 3,6 \text{ kNm}$$

Maximální povolená tahová síla v plechu se vypočte jako:

$$F_{Rd} = A \times f_{y,\theta,30} \times \mu_t \quad (4.20)$$

$$F_{Rd} = 1\,246 \times 19,73 \times 0,5$$

$$F_{Rd} = 12,29 \text{ kN}$$

Maximální povolená únosnost šroubů:

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b1,Rd} \times n_R \times 1000}{m_R} \quad (4.21)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,928 \times 2 \times 1000}{280}$$

$$F_{b,Rd} = 6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Z porovnání únosnosti šroubů a plechu je patrné, že únosnost bude v tomto případě omezena únosností šroubů. Sílu v plechu uprostřed rozpětí lze dopočítat při předpokládaném sklonu plechu u podpory 15° :

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot F_{Rd}$$

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot 12,29$$

$$H_{Rd} = 11,87 \text{ kN} \text{ (prvotní odhad)}$$

Vodorovná síla v plechu není větší než $6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Průhyb plechu lze vypočítat:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}}$$

kde je patrné, že vodorovná síla je závislá na průhybu a průhyb je závislý na poměrném přetvoření. Poměrné přetvoření se skládá z protažení od teploty a protažení od napětí. Protažení od teploty je dané teplotou plechu. Protažení od napětí závisí na průhybu. Takto se dostáváme do cyklického výpočtu.

Nejdříve se vypočítá protažení od teploty (841,8 °C), pro tuto teplotu se protažení vypočítá dle ČSN EN 1993-1-2 čl. 3.4.1.1:

$$\varepsilon_{\theta} = 0,011 \quad (4.22)$$

Průhyb od teploty se vypočítá jako:

$$\delta_{0\theta} = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.23)$$

$$\delta_{0\theta} = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,011 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_{0\theta} = 0,385 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,385}{6}\right) = 0,25 \text{ rad } (14,41^\circ) \quad (4.24)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,30} \cdot \cos(\alpha) = 12,29 \cdot \cos(0,25) = 11,90 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \quad (4.25)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou kterou dokáží přenést šrouby, tj. 6,28 kN·m⁻¹.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_{0\theta}} \quad (4.26)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,385}$$

$$H_{ED} = 5,84 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 5,84 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Posouzení je konzervativní, protože se neuvažuje s průhybem od napětí. Příspěvek k únosnosti lze spočítat následovně:

Lze spočítat poměrné protažení od zatížení při teplotě 841,8 °C. Jako síla v plechu je uvažována

$$\varepsilon_E = \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,15}} \quad (4.27)$$

$$\varepsilon_E = \frac{5,76 \cdot 1000}{1246 \cdot 16\,925}$$

$$\varepsilon_E = 0,00027$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\varepsilon = \varepsilon_E + \varepsilon_\theta$$

$$\varepsilon = 0,00027 + 0,011$$

$$\varepsilon = 0,0112$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.28)$$

$$\delta_0 = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0112 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_0 = 0,390 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_0}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,390}{6}\right) = 0,26 \text{ rad } (14,58^\circ) \quad (4.29)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu v plechu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,30} \cdot \cos(\alpha) = 12,29 \cdot \cos(0,26) = 11,89 \text{ kN} \quad (4.30)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,28 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_0} \quad (4.31)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,390}$$

$$H_{ED} = 5,76 \text{ kN}$$

Toto není konečná hodnota, protože protažení je počítáno od síly $5,84 \text{ kN}$, což je větší hodnota než $5,76 \text{ kN}$.

$$\varepsilon_E = \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,30}} \quad (4.32)$$

$$\varepsilon_E = \frac{5,76 \cdot 1000}{1246 \cdot 16\,925}$$

$$\varepsilon_E = 0,00027$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\varepsilon = \varepsilon_E + \varepsilon_\theta$$

$$\varepsilon = 0,00027 + 0,011$$

$$\varepsilon = 0,0112$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.33)$$

$$\delta_0 = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0112 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_0 = 0,390 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_0}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,390}{6}\right) = 0,26 \text{ rad } (14,58^\circ) \quad (4.34)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu v plechu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,30} \cdot \cos(\alpha) = 12,29 \cdot \cos(0,25) = 11,89 \text{ kN} \quad (4.35)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,28 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_0} \quad (4.36)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,385}$$

$$H_{ED} = 5,767 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 5,767 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Pokud porovnáme výsledek rovnice (4.31) a rovnice (4.36), je patrné, že výsledky se rozcházejí až na 3. desetinném místě.

Pokud je potřeba se dostat ještě k přesnějšímu výsledku, je možné postup opakovat, ale vždy musíme hodnotit, zda je přiblížení k výsledku z bezpečné strany.

4.3 Rozpětí 6 m, odolnost R 45, plech TR 150/280/0,75

$$L = 6 \text{ m}$$

$$g_R = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\theta_{aR} = 902,34 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{teplota plynů v 45. minutě požáru}$$

$$A_R = 1\,246 \text{ mm}^2 - \text{posuzovaná plocha plechu}$$

$$f_{y,\theta,45} = 15,850 \text{ MPa}$$

$$E_{\theta,45} = 14064,4 \text{ MPa}$$

$$\mu_t = 0,5$$

$$m_R = 280 \text{ mm}$$

$$n_R = 2 \text{ ks}$$

$$F_{b1,Rd} = 0,928 \text{ kN}$$

Moment na konstrukci:

$$M_{ED} = \frac{g_{d,fi} \times L^2}{8} \quad (4.37)$$

$$M_{ED} = \frac{0,5 \times 6^2}{8}$$

$$M_{ED} = 2,25 \text{ kNm}$$

Maximální povolená tahová síla v plechu se vypočte jako:

$$F_{Rd} = A \times f_{y,\theta,45} \times \mu_t \quad (4.38)$$

$$F_{Rd} = 1\,246 \times 15,85 \times 0,5$$

$$F_{Rd} = 9,87 \text{ kN}$$

Maximální povolená únosnost šroubů:

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b1,Rd} \times n_R \times 1000}{m_R} \quad (4.39)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,928 \times 2 \times 1000}{280}$$

$$F_{b,Rd} = 6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Z porovnání únosnosti šroubů a plechu je patrné, že únosnost bude v tomto případě omezena únosností šroubů. Sílu v plechu uprostřed rozpětí lze dopočítat při předpokládaném sklonu plechu u podpory 15°:

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot F_{Rd}$$

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot 9,87$$

$$H_{Rd} = 9,53 \text{ kN (prvotní odhad)}$$

Vodorovná síla v plechu není větší než 6,628 kN·m⁻¹.

Průhyb plechu lze vypočítat:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}}$$

kde je patrné, že vodorovná síla je závislá na průhybu a průhyb je závislý na poměrném přetvoření. Poměrné přetvoření se skládá z protažení od teploty a protažení od napětí. Protažení od teploty je dané teplotou plechu. Protažení od napětí závisí na průhybu. Takto se dostáváme do cyklického výpočtu.

Nejdříve se vypočítá protažení od teploty (902,3 °C), pro tuto teplotu se protažení vypočítá dle normy ČSN EN 1993-1-2 čl. 3.4.1.1:

$$\varepsilon_{\theta} = 0,0118 \quad (4.40)$$

Průhyb od teploty lze vypočítat jako:

$$\delta_{0\theta} = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.41)$$

$$\delta_{0\theta} = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0118 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_{0\theta} = 0,399 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,399}{6}\right) = 0,26 \text{ rad } (14,93^\circ) \quad (4.42)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu v plechu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,45} \cdot \cos(\alpha) = 9,87 \cdot \cos(0,26) = 9,54 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \quad (4.43)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou kterou dokáží přenést šrouby, tj. 6,28 kN·m⁻¹.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_{0\theta}} \quad (4.44)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,399}$$

$$H_{ED} = 5,62 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 5,62 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Posouzení je konzervativní, protože se neuvažuje s průhybem od napětí. Příspěvek k únosnosti lze spočítat následovně:

Lze spočítat poměrné protažení od zatížení při teplotě 902,3 °C. Jako síla v plechu je uvažována

$$\varepsilon_E = \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,45}} \quad (4.45)$$

$$\varepsilon_E = \frac{5,62 \cdot 1000}{1246 \cdot 14\,064}$$

$$\varepsilon_E = 0,00032$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_E + \varepsilon_\theta \\ \varepsilon &= 0,00032 + 0,0118 \\ \varepsilon &= 0,0121\end{aligned}$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}\delta_0 &= L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \\ \delta_0 &= 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0121 \cdot 6)}{8 \cdot 6}} \\ \delta_0 &= 0,405 \text{ m}\end{aligned} \quad (4.46)$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_0}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,405}{6}\right) = 0,27 \text{ rad } (15,12^\circ) \quad (4.47)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,45} \cdot \cos(\alpha) = 9,87 \cdot \cos(0,27) = 9,53 \text{ MPa} \quad (4.48)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu dále se počítá se silou kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}H_{ED} &= \frac{M_{ED}}{\delta_0} \\ H_{ED} &= \frac{2,25}{0,405} \\ H_{ED} &= 5,5514 \text{ kN}\end{aligned} \quad (4.49)$$

Toto není konečná hodnota, protože protažení je počítáno od síly $5,626 \text{ kN}$, což je větší hodnota než $5,551 \text{ kN}$.

$$\begin{aligned}\varepsilon_E &= \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,45}} \\ \varepsilon_E &= \frac{5,55 \cdot 1000}{1246 \cdot 14\,064} \\ \varepsilon_E &= 0,00031\end{aligned} \quad (4.50)$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\varepsilon = \varepsilon_E + \varepsilon_\theta$$

$$\varepsilon = 0,00031 + 0,011$$

$$\varepsilon = 0,0121$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.51)$$

$$\delta_0 = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0121 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_0 = 0,405 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_0 \theta}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,405}{6}\right) = 0,27 \rightarrow \text{rad } (15,12^\circ) \quad (4.52)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,45} \cdot \cos(\alpha) = 9,87 \cdot \cos(0,27) = 9,53 \text{ MPa} \quad (4.53)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_0} \quad (4.54)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,405}$$

$$H_{ED} = 5,5524 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 5,5524 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Pokud porovnáme výsledek rovnice (4.49) a rovnice (4.54), je patrné, že výsledky se rozcházejí až na 3. desetinném místě.

Pokud je potřeba se dostat ještě k přesnějšímu výsledku, je možné postup opakovat, ale vždy musíme hodnotit, zda je přiblížení k výsledku z bezpečné strany.

4.4 Rozpětí 6 m, odolnost R 60, plech TR 150/280/0,75

$$L = 6 \text{ m}$$

$$g_R = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\theta_{aR} = 945,3 \text{ }^\circ\text{C} \text{ - teplota plynů v 60. minutě požáru}$$

$$A_R = 1\,246 \text{ mm}^2$$

$$f_{y,\theta,60} = 13,10 \text{ MPa}$$

$$E_{\theta,60} = 12\,032,6 \text{ MPa}$$

$$\mu_t = 0,5$$

$$m_R = 280 \text{ mm}$$

$$n_R = 2 \text{ ks}$$

$$F_{b1,Rd} = 0,928 \text{ kN}$$

Moment na konstrukci:

$$M_{ED} = \frac{g_{d,fi} \times L^2}{8} \quad (4.55)$$

$$M_{ED} = \frac{0,5 \times 6^2}{8}$$

$$M_{ED} = 2,25 \text{ kNm}$$

Maximální povolená tahová síla v plechu se vypočte jako:

$$F_{Rd} = A \times f_{y\theta,60} \times \mu_t \quad (4.56)$$

$$F_{Rd} = 1\,246 \times 13,1 \times 0,5$$

$$F_{Rd} = 8,16 \text{ kN}$$

Maximální povolená únosnost šroubů:

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b1,Rd} \times n_R \times 1000}{m_R} \quad (4.57)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,928 \times 2 \times 1000}{280}$$

$$F_{b,Rd} = 6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Z porovnání únosnosti šroubů a plechu je patrné, že únosnost bude v tomto případě omezena únosností šroubů. Sílu v plechu uprostřed rozpětí lze dopočítat při předpokládaném sklonu plechu u podpory 15°:

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot F_{Rd}$$

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot 8,16$$

$$H_{Rd} = 7,88 \text{ kN (prvotní odhad)}$$

Vodorovná síla v plechu není větší než 6,628 kN·m⁻¹.

Průhyb plechu lze vypočítat:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}}$$

kde je patrné, že vodorovná síla je závislá na průhybu a průhyb je závislý na poměrném přetvoření. Poměrné přetvoření se skládá z protažení od teploty a protažení od napětí. Protažení od teploty je dané teplotou plechu. Protažení od napětí závisí na průhybu. Takto se dostáváme do cyklického výpočtu.

Nejdříve se vypočítá protažení od teploty (945,3 °C), pro tuto teplotu se protažení vypočítá dle normy ČSN EN 1993-1-2 čl. 3.4.1.1:

$$\varepsilon_{\theta} = 0,0127 \quad (4.58)$$

Průhyb od teploty lze vypočítat jako:

$$\delta_{0\theta} = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.59)$$

$$\delta_{0\theta} = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0127 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_{0\theta} = 0,414 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,414}{6}\right) = 0,27 \text{ rad } (15,44^\circ) \quad (4.60)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,60} \cdot \cos(\alpha) = 8,16 \cdot \cos(0,27) = 7,86 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \quad (4.61)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou kterou dokáží přenést šrouby, tj. 6,28 kN·m⁻¹.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_{0\theta}} \quad (4.62)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,399}$$

$$H_{ED} = 5,43 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 5,43 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Posouzení je konzervativní, protože se neuvažuje s průhybem od napětí. Příspěvek k únosnosti lze spočítat následovně:

Lze spočítat poměrné protažení od zatížení při teplotě 945,3 °C. Jako síla v plechu je uvažována

$$\varepsilon_E = \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,60}} \quad (4.63)$$

$$\varepsilon_E = \frac{5,43 \cdot 1000}{1246 \cdot 12\,032,68}$$

$$\varepsilon_E = 0,00036$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_E + \varepsilon_\theta \\ \varepsilon &= 0,00036 + 0,0127 \\ \varepsilon &= 0,0130\end{aligned}$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}\delta_0 &= L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \\ \delta_0 &= 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0132 \cdot 6)}{8 \cdot 6}} \\ \delta_0 &= 0,420 \text{ m}\end{aligned} \quad (4.64)$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_0}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,419}{6}\right) = 0,27 \text{ rad } (15,64^\circ) \quad (4.65)$$

Dále můžeme lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,60} \cdot \cos(\alpha) = 8,16 \cdot \cos(0,27) = 7,85 \text{ MPa} \quad (4.66)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,28 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}H_{ED} &= \frac{M_{ED}}{\delta_0} \\ H_{ED} &= \frac{2,25}{0,420} \\ H_{ED} &= 5,356 \text{ kN}\end{aligned} \quad (4.67)$$

Toto není konečná hodnota, protože protažení je počítáno od síly $5,43 \text{ kN}$, což větší hodnota než $5,35 \text{ kN}$.

$$\begin{aligned}\varepsilon_E &= \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,60}} \\ \varepsilon_E &= \frac{5,35 \cdot 1000}{1246 \cdot 12\,032} \\ \varepsilon_E &= 0,00035\end{aligned} \quad (4.68)$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_E + \varepsilon_\theta \\ \varepsilon &= 0,00035 + 0,0127 \\ \varepsilon &= 0,0130\end{aligned}$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}\delta_0 &= L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \\ \delta_0 &= 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0130 \cdot 6)}{8 \cdot 6}} \\ \delta_0 &= 0,419 \text{ m}\end{aligned} \quad (4.69)$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_0}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,419}{6}\right) = 0,27 \text{ rad } (15,64^\circ) \quad (4.70)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,60} \cdot \cos(\alpha) = 8,16 \cdot \cos(0,27) = 7,85 \text{ MPa} \quad (4.71)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,28 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}H_{ED} &= \frac{M_{ED}}{\delta_0} \\ H_{ED} &= \frac{2,25}{0,419} \\ H_{ED} &= 5,357 \text{ kN}\end{aligned} \quad (4.72)$$

Posouzení:

$$\begin{aligned}H_{Rd} &\geq H_{ED} \\ 6,628 \text{ kNm} &\geq 5,357 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Vyhovuje

Pokud porovnáme výsledek rovnice (4.67) a rovnice (4.72), je patrné, že výsledky se rozcházejí až na 3. desetinném místě.

Pokud je potřeba se dostat ještě k přesnějšímu výsledku, je možné postup opakovat, ale vždy musíme hodnotit, zda je přiblížení k výsledku z bezpečné strany.

4.5 Rozpětí 6 m, odolnost R 45, plech TR A 150/280/0,75

$$L = 6 \text{ m}$$

$$g_R = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\theta_{aR} = 902,3 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{teplota plynů v 45. minutě požáru}$$

$$A_R = 1\,064 \text{ mm}^2 - \text{posuzovaná plocha plechu}$$

$$f_{y,\theta,45} = 15,850 \text{ MPa}$$

$$E_{\theta,45} = 14064,4 \text{ MPa}$$

$$\mu_t = 0,5$$

$$m_R = 280 \text{ mm}$$

$$n_R = 2 \text{ ks}$$

$$F_{b1,Rd} = 0,928 \text{ kN}$$

Moment na konstrukci:

$$M_{ED} = \frac{g_{d,fi} \times L^2}{8} \quad (4.73)$$

$$M_{ED} = \frac{0,5 \times 6^2}{8}$$

$$M_{ED} = 2,25 \text{ kNm}$$

Maximální povolená tahová síla v plechu se vypočte jako:

$$F_{Rd} = A \times f_{y\theta,45} \times \mu_t \quad (4.74)$$

$$F_{Rd} = 1\,064 \times 15,85 \times 0,5$$

$$F_{Rd} = 8,43 \text{ kN}$$

Maximální povolená únosnost šroubů:

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b1,Rd} \times n_R \times 1000}{m_R} \quad (4.75)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,928 \times 2 \times 1000}{280}$$

$$F_{b,Rd} = 6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Z porovnání únosností šroubů a plechu je patrné, že únosnost bude v tomto případě omezena únosností šroubů. Sílu v plechu uprostřed rozpětí lze dopočítat při předpokládaném sklonu plechu u podpory 15°:

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot F_{Rd}$$

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot 9,87$$

$$H_{Rd} = 9,53 \text{ kN (prvotní odhad)}$$

Vodorovná síla v plechu není větší než 6,628 kN·m⁻¹.

Průhyb plechu lze vypočítat:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}}$$

kde je patrné, že vodorovná síla je závislá na průhybu a průhyb je závislý na poměrném přetvoření. Poměrné přetvoření se skládá z protažení od teploty a protažení od napětí. Protažení od teploty je dané teplotou plechu. Protažení od napětí závisí na průhybu. Takto se dostáváme do cyklického výpočtu.

Nejdříve se vypočítá protažení od teploty (902,3 °C), pro tuto teplotu se protažení vypočítá dle normy ČSN EN 1993-1-2 čl. 3.4.1.1:

$$\varepsilon_{\theta} = 0,0118 \quad (4.76)$$

Průhyb od teploty lze vypočítat jako:

$$\delta_{0\theta} = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.77)$$

$$\delta_{0\theta} = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0118 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_{0\theta} = 0,399 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze vypočítat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,399}{6}\right) = 0,26 \text{ rad } (14,93^\circ) \quad (4.78)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu v plechu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,45} \cdot \cos(\alpha) = 8,43 \cdot \cos(0,26) = 8,14 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \quad (4.79)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. 6,28 kN·m⁻¹.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_{0\theta}} \quad (4.80)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,399}$$

$$H_{ED} = 5,62 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 5,62 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Posouzení je konzervativní, protože se neuvažuje s průhybem od napětí. Příspěvek k únosnosti lze spočítat následovně:

Lze spočítat poměrné protažení od zatížení při teplotě 902,3 °C. Jako síla v plechu je uvažována

$$\varepsilon_E = \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,45}} \quad (4.81)$$

$$\varepsilon_E = \frac{5,62 \cdot 1000}{1064 \cdot 14\,064}$$

$$\varepsilon_E = 0,00037$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_E + \varepsilon_\theta \\ \varepsilon &= 0,00037 + 0,0118 \\ \varepsilon &= 0,0122\end{aligned}$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}\delta_0 &= L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.82) \\ \delta_0 &= 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0122 \cdot 6)}{8 \cdot 6}} \\ \delta_0 &= 0,406 \text{ m}\end{aligned}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_0}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,406}{6}\right) = 0,26 \text{ rad } (15,15^\circ) \quad (4.83)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Ra} = F_{Ra\theta,45} \cdot \cos(\alpha) = 8,43 \cdot \cos(0,27) = 8,13 \text{ MPa} \quad (4.84)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}H_{ED} &= \frac{M_{ED}}{\delta_0} \quad (4.85) \\ H_{ED} &= \frac{2,25}{0,406} \\ H_{ED} &= 5,538 \text{ kN}\end{aligned}$$

Toto není konečná hodnota, protože protažení je počítáno od síly $5,626 \text{ kN}$, což je větší hodnota než $5,538 \text{ kN}$.

$$\begin{aligned}\varepsilon_E &= \frac{H_{ED} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,45}} \quad (4.86) \\ \varepsilon_E &= \frac{538 \cdot 1000}{1064 \cdot 14\,064} \\ \varepsilon_E &= 0,00037\end{aligned}$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E , je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\varepsilon = \varepsilon_E + \varepsilon_\theta$$

$$\varepsilon = 0,00037 + 0,011$$

$$\varepsilon = 0,0122$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.87)$$

$$\delta_0 = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0122 \cdot 6)}{8 \cdot 6}}$$

$$\delta_0 = 0,406 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_0}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,406}{6}\right) = 0,26 \text{ rad } (15,15^\circ) \quad (4.88)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Ra} = F_{Ra0,45} \cdot \cos(\alpha) = 8,43 \cdot \cos(0,27) = 8,13 \text{ MPa} \quad (4.89)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_0} \quad (4.90)$$

$$H_{ED} = \frac{2,25}{0,406}$$

$$H_{ED} = 5,5403 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Ra} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 5,6403 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Pokud porovnáme výsledek rovnice (4.85) a rovnice (4.90), je patrné, že výsledky se rozcházejí až na 3. desetinném místě.

Pokud je potřeba se dostat ještě k přesnějšímu výsledku, je možné postup opakovat, ale vždy musíme hodnotit, zda je přiblížení k výsledku z bezpečné strany.

4.6 Rozpětí 8 m, odolnost R 45, plech TR 150/280/0,75

$$L = 8 \text{ m}$$

$$g_R = 0,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\theta_{aR} = 902,34 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{teplota plynů v 45. minutě požáru}$$

$$A_R = 1\,246 \text{ mm}^2 - \text{posuzovaná plocha plechu}$$

$$f_{y,\theta,45} = 15,850 \text{ MPa}$$

$$E_{\theta,45} = 14064,4 \text{ MPa}$$

$$\mu_t = 0,5$$

$$m_R = 280 \text{ mm}$$

$$n_R = 2 \text{ ks}$$

$$F_{b1,Rd} = 0,928 \text{ kN}$$

Moment na konstrukci:

$$M_{ED} = \frac{g_{d,fi} \times L^2}{8} \quad (4.91)$$

$$M_{ED} = \frac{0,5 \times 8^2}{8}$$

$$M_{ED} = 4,0 \text{ kNm}$$

Maximální povolená tahová síla v plechu se vypočte jako:

$$F_{Rd} = A \times f_{y\theta,45} \times \mu_t \quad (4.92)$$

$$F_{Rd} = 1\,246 \times 15,85 \times 0,5$$

$$F_{Rd} = 9,87 \text{ kN}$$

Maximální povolená únosnost šroubů:

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b1,Rd} \times n_R \times 1000}{m_R} \quad (4.93)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,928 \times 2 \times 1000}{280}$$

$$F_{b,Rd} = 6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Z porovnání únosnosti šroubů a plechu je patrné, že únosnost bude v tomto případě omezena únosností šroubů. Sílu v plechu uprostřed rozpětí lze dopočítat při předpokládaném sklonu plechu u podpory 15° :

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot F_{Rd}$$

$$H_{Rd} = \cos(15) \cdot 9,87$$

$$H_{Rd} = 9,53 \text{ kN} \text{ (prvotní odhad)}$$

Vodorovná síla v plechu není větší než $6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Průhyb plechu lze vypočítat:

$$\delta_0 = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}}$$

kde je patrné, že vodorovná síla je závislá na průhybu a průhyb je závislý na poměrném přetvoření. Poměrné přetvoření se skládá z protažení od teploty a protažení od napětí. Protažení od teploty je dané teplotou plechu. Protažení od napětí závisí na průhybu. Takto se dostáváme do cyklického výpočtu.

Nejdříve se vypočítá protažení od teploty (902,3 °C), pro tuto teplotu se protažení vypočítá dle normy ČSN EN 1993-1-2 čl. 3.4.1.1:

$$\varepsilon_{\theta} = 0,0118 \quad (4.94)$$

Průhyb od teploty lze vypočítat jako:

$$\delta_{0\theta} = L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.95)$$

$$\delta_{0\theta} = 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0118 \cdot 8)}{8 \cdot 8}}$$

$$\delta_{0\theta} = 0,533 \text{ m}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,533}{6}\right) = 0,26 \text{ rad } (14,93^\circ) \quad (4.96)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu v plechu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,45} \cdot \cos(\alpha) = 9,87 \cdot \cos(0,26) = 9,54 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \quad (4.97)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. 6,28 kN·m⁻¹.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_{0\theta}} \quad (4.98)$$

$$H_{ED} = \frac{4,0}{0,533}$$

$$H_{ED} = 7,501 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \geq H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \geq 7,501 \text{ kNm}$$

Nevyhovuje

Posouzení je konzervativní, protože se neuvažuje s průhybem od napětí. Příspěvek k únosnosti lze spočítat následovně:

Lze spočítat poměrné protažení od zatížení při teplotě 902,3 °C. Jako síla v plechu je uvažována maximální povolené zatížení H_{Rd} :

$$\varepsilon_E = \frac{H_{ED(Rd)} \cdot 1000}{A_R \cdot E_{\theta,45}} \quad (4.99)$$

$$\varepsilon_E = \frac{6,628 \cdot 1000}{1246 \cdot 14\,064}$$

$$\varepsilon_E = 0,00037$$

Při porovnání poměrného protažení od teploty ε_θ a poměrného protažení od napětí ε_E je zřejmé, že vliv teploty je více jak desetkrát větší.

Celkové poměrné protažení je:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_E + \varepsilon_\theta \\ \varepsilon &= 0,00037 + 0,0118 \\ \varepsilon &= 0,0122\end{aligned}$$

Celkový průhyb lze vypočítat jako:

$$\begin{aligned}\delta_0 &= L \sqrt{\frac{3\Delta L}{8L}} \quad (4.100) \\ \delta_0 &= 6 \sqrt{\frac{3 \cdot (0,0122 \cdot 8)}{8 \cdot 8}} \\ \delta_0 &= 0,541 \text{ m}\end{aligned}$$

úhel α (odklon profilu od vodorovné roviny) lze získat z výrazu:

$$\alpha = \arctg\left(4 \cdot \frac{\delta_{0\theta}}{L}\right) = \arctg\left(4 \cdot \frac{0,541}{8}\right) = 0,27 \text{ rad } (15,15^\circ) \quad (4.101)$$

Dále lze vypočítat maximální vodorovnou sílu:

$$H_{Rd} = F_{Rd\theta,45} \cdot \cos(\alpha) = 9,87 \cdot \cos(0,27) = 9,53 \text{ MPa} \quad (4.102)$$

Protože je únosnost šroubů menší než únosnost plechu v tahu, dále se počítá se silou, kterou dokáží přenést šrouby, tj. $6,628 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$.

Vodorovná síla, která vzniká od zatížení lze vypočítat jako:

$$H_{ED} = \frac{M_{ED}}{\delta_0} \quad (4.103)$$

$$H_{ED} = \frac{4,0}{0,541}$$

$$H_{ED} = 7,38 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$H_{Rd} \nless H_{ED}$$

$$6,628 \text{ kNm} \nless 7,38 \text{ kNm}$$

Nevyhovuje

Je zřejmé, že daný trapézový plech na dané rozpětí nevyhoví ani při dalším zpřesnění výsledků.

5 SHRnutí VÝSLEDKŮ

Následující tabulka shrnuje vodorovné síly v jednotlivých případech.

Plocha plechu [mm ²]	Rozpětí [m]	Odolnost	Svislý průhyb [mm]	H _{ED} [kN]
1 246	6,0	R 15	385,3	5,83
1 246	6,0	R 30	390,1	5,76
1 246	6,0	R 45	405,2	5,55
1 246	6,0	R 60	419,9	5,35
1 064	6,0	R 45	406,1	5,54
1 246	8,0	R 45	524,6	7,37 (Nevyhovuje)

6 ZÁVĚR

Tento vzorový výpočet slouží pouze jako pomůcka pro výpočty k Požárně klasifikačním osvědčením, kde je provedena klasifikace.

Tento dokument nenahrazuje posouzení shody výrobku ve smyslu zákona č. 22/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů, ani klasifikaci požární odolnosti ve smyslu ČSN EN 13501-2.

Vypracoval:

Kontroloval:

Schválil:

Ing. Jan Bednář, Ph.D.

Ing. Petra Chloubová, Ph.D.

Ing. Jan Tripes
výkonný ředitel PAVUS, a.s.

V Praze dne 30.3.2022



PAVUS, a.s.

Prosecká 412/74, 190 00 Praha 9
IČ: 60193174; DIČ: CZ60193174
(4)